

УДК 621.793

UDK 621.793

МАТЕРІАЛИ У CVD-ТЕХНОЛОГІЯХ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Посвятенко Е.К., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, natali1963@ukr.net, orcid.org/0000-0001-6606-1365

Посвятенко Н.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, natali1963@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2217-4170

Мельник Т.В., кандидат історичних наук, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут, Харків, Україна, melnicktamara@yandex.ua, orcid.org/0000-0002-0150-6535

MATERIALS IN CVD-TECHNOLOGIES ENGINEERING SURFACE PARTS OF MEANS OF TRANSPORT

Posviatenko E.K., Doctor of Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, natali1963@ukr.net, orcid.org/0000-0001-6606-1365

Posviatenko N.I., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, natali1963@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2217-4170

Melnik T.V., Ph.D., National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, Ukraine, melnicktamara@yandex.ua, orcid.org/0000-0002-0150-6535

МАТЕРИАЛЫ В CVD-ТЕХНОЛОГИЯХ ИНЖЕНЕРИИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Посвятенко Э.К., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, natali1963@ukr.net, orcid.org/0000-0001-6606-1365

Посвятенко Н.И., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина natali1963@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2217-4170

Мельник Т.В., кандидат исторических наук, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков, Украина melnicktamara@yandex.ua, orcid.org/0000-0002-0150-6535

Постановка проблеми.

Метод CVD – Chemical Vapour Deposition – один з основних напрямків інженерії поверхні деталей машин [1]. Метод включає хіміко-термічні технології та технології електрохімічного і хімічного осадження покриттів на металевій поверхні деталі. Ці технології можуть бути використані для отримання покриттів, модифікування поверхневого шару деталі, а також як комбіновані. У всіх випадках однією із найважливіших складових є матеріали.

Слід відзначити, що на сьогодні відомі біля 400 тис. неорганічних речовин, які використовуються у основних та допоміжних процесах інженерії поверхні [2, 3].

Проте, немає системного дослідження використання матеріалів, їх сполук, твердих розчинів та сумішей у CVD-технологіях. Проблеми підготовки поверхні деталей для виготовлення та відновлення, власне процеси отримання поверхневих шарів і модифікування основи, а також завершальної стадії процесів, якою є механічна обробки лезовим чи абразивним інструментом шару з потрібними експлуатаційними властивостями, розглядаються кожна окремо. У спеціальній науковій літературі дані щодо використання матеріалів для ланцюжка цих технологій розрізнені. Тому системне дослідження у даному напрямку, включаючи історичні етапи виникнення і використання матеріалів для інженерії поверхні деталей машин, є актуальним.

Мета дослідження – систематизувати історичні етапи виникнення і використання матеріалів для CVD- технологій інженерії поверхні деталей машин.

Методика і результати досліджень.

Розглянемо основні етапи виникнення речовин у історичному аспекті.

Усі періоди розвитку неорганічної хімії поділяються на наступні: найдавніший, алхімія, ятрохімія, поява технічної хімії, класична хімія та сучасний період.

Упродовж найдавнішого періоду, який умовно закінчився зломом XII та XIII ст. н.е., були відкриті мідь, ртуть, срібло, золото, олово, свинець, залізо, сірка, вуглець, порох і порцеляна. У наступний алхімічний період (до початку XVI ст. н.е.) були винайдені деякі мінерали, миш'як, сурма, цинк, вісмут, певні кислоти, солі та луги, а також селітра. Засновник ятрохімії Парацельс запровадив до медичної практики препарати ртуті, срібла, золота, інших металів для хімічних засобів лікування. Технічна хімія виникла у XVII – першій половині XVIII ст. Тоді було отримано фосфор, кобальт, платину і нікель, створено виробництво азотної, сірчаної, соляної кислот, а також сульфату цинку, нашатиру, бури, галунів. Були розроблені мінеральні барвники та удосконалена технологія кераміки. У 1722 р. Реомюр (Франція) винайшов спосіб отримання середньо- та високовуглецевих сталей шляхом сумісного плавлення у одній печі низьковуглецевої сталі (криці) та чавуну.

Початок XVIII ст. пов'язаний з розповсюдженням теорії флогістону, тобто створення теоретичних засад горіння, що стало наприкінці XIX ст. основою процесів газотермічної обробки. У другій половині XVIII ст. були відкриті барій, марганець, молібден і телур. При цьому застосовувались аналітичні методи. Тоді ж за допомогою електрики була розкладена вода і отримані перші найпростіші гази: водень, кисень, азот і хлор. У 1797 р. французький вчений Тенант, спаливши брильянт у вакуумі, показав, що алмаз (діамант) є простою речовиною – вуглецем. На основі праць Гальвані та Вольта запропоновано електрохімічний ряд стандартних електродних потенціалів. У 1786 р. Гальвані відкрив електричний струм, а у 1799 р. Вольта – "вольтів стовп" – джерело постійного електричного струму.

Уперше термін "технологія" стосовно хімічних процесів застосував професор Гетингенського університету Йоганн Фрідріх Бекман (1772 р.)

Злам XVIII та XIX ст. характеризується завершенням періоду електростатики, яка уже тоді широко застосовувалась у хімічних технологіях, що також виникли на зламі цих століть.

Слід відзначити, що період електростатики, як системної науки технічного спрямування, що мав вплив на хімічні технології, розпочався у 1600 р. Тоді друкованою працею англійського вченого Вільяма Гілберта "Про магніт, магнітні тіла і великий магніт – Землю" розпочався 200-літній період електростатики. Автор розрізнув явища електрики і магнетизму, запропонував термін "електрика" і "електроскоп" та описав перший прилад для електричного спостереження.

Використовуючи набір гальванічних батарей, петербурзький вчений Василь Петров відкрив електричну дугу. Це явище пізніше стало основою способів дугового зварювання неплавким (Микола Бенардос, 1881 р.) та плавким (Микола Славянов, 1888 р.) електродами. Ці способи є на сьогодні основою одного з головних методів інженерії поверхні деталей машин – наплавлення. У публікації "Известие о гальванивольтовых опытах, которые проводил профессор физики Василий Петров" було вказано на практичне застосування дуги, зокрема, для освітлення, електроплавлення, відновлення металів з окислів. Петров також досліджував електроліз, електричні розряди у газах, люмінесценцію, ізоляцію провідників.

У кінці XVIII – на початку XIX ст.ст. було винайдено на основі ідеї Реомюра високовуглецеву евтектоїдну та заевтектоїдну сталь (вміст вуглецю 0,6 – 1,5%; кремнію 0,2 – 0,4%; марганцю 0,15 – 0,35%) та спосіб її гартування (Англія, Франція, Німеччина). І на сьогодні високовуглецеві сталі використовуються для отримання покриттів і модифікування поверхневого шару деталей (наприклад, цементацією). Подальше поліпшення технології і властивостей вуглецевої сталі здійснили у XIX ст. Аносов (Росія, 1837 р.), Бесемер (Англія, 1856 р.), брати Сіменси (Німеччина, 1858 р.), брати Мартени (Франція, 1864 р.) і Томас (Англія, 1878 р.). Таким чином, на середину XIX ст. важливим зносостійким матеріалом стала сталь зі вмістом вуглецю 0,5 – 1,5 %, яка у процесі гартування і низького відпускання отримувала високі твердість (HRC 60) і міцність ($\sigma_{зг} = 3$ ГПа). Однак, на цей час за попередні 100 років уже було відкрито і отримано у вільному стані 28 раніше невідомих металів від нікелю (1751 р.) і вольфраму (1783 р.), марганцю, молібдену, магнію, кальцію, барію, цирконію, алюмінію (1822 р.), титану, берилію, ванадію (1869 р.) тощо. Ці елементи незабаром стали складовими легованої сталі. Так, у 1861 р. англійський дослідник Роберт Мушет створив першу леговану сталь, до складу якої було введено вольфрам, марганець і хром.

Відомо [2, 3], що основні закономірності хімічної технології базуються на використанні законів хімічної термодинаміки і кінетики. Невід'ємною частиною хімічної кінетики є катализ, який є розповсюдженим методом отримання і перетворення речовин. Каталітичні процеси широко використовуються для отримання продуктів хімічної, нафтопереробної, нафтохімічної та ін. галузей промисловості. Виробництво аміаку, сірчаної та азотної кислот, водню, оксиду вуглецю здійснюються каталітичними методами. Промислове виробництво неорганічних речовин складається

з виробництва основних хімічних сполук – кислот, лугів, солей; електрохімічного виробництва – водню, кисню, хлору, лугів; металургії – виробництва чорних, кольорових, благородних та рідкісних металів; силікатної промисловості – виробництва скла, кераміки; виробництва мінеральних фарб і пігментів; виробництва тонких неорганічних продуктів – хімічних реактивів.

Після створення у 1800 р. першого джерела електричного струму ("вольтів стовп"), гальванічних елементів, приладів для вивчення електролізу, термоелектричних і магнітних явищ, починаються активні дослідження електричного струму, його магнітних, хімічних теплових, світлових властивостей. За короткий термін (30 – 40 років) були відкриті європейськими ученими (Ом, Ерстед, Ампер, Біо, Савар, Джоуль, Ленц) основні закони електричного струму. У 1833 – 1834 рр. Майкл Фарадей установив закон електролізу, який і на сьогодні є основою CVD – технологій інженерії поверхні деталей машин. Таким чином, злам XVIII – XIX ст.ст. можна вважати завершенням електростатики і початком електродинаміки, що посилює взаємозв'язок електричних та хімічних технологій.

Технології процесів зв'язаного азоту і виробництва соди є головними галузями основної хімії. Від рівня їх розвитку залежить рівень розвитку усієї хімічної промисловості і забезпечення азотовмісними речовинами і похідними соди. Підкреслюючи важливу роль азоту та його сполук, акад. Д. Прянішников наголошував, що "именно азот является самым могучим двигателем в процессах развития, роста и творчества природы. Его уловить, им овладеть – вот в чем ключ к экономике, подчинить его источник, который бьет с неисчерпаемой энергией – вот в чем тайна благосостояния" [3].

Для розділення повітря вилученням азоту технічними засобами використовують низькі температури. Вивчення критичної температури і досягнення вакуумної та холодильної техніки дозволили у кінці XIX ст. здійснити і реалізувати у промисловому масштабі розділення повітря і отримати у рідкому та твердому стані азот, а також кисень і водень.

У процесах інженерії поверхні широко застосовується азотування – хіміко-термічна обробка сталевих деталей, яка полягає у дифузійному насиченні поверхневого шару азотом. Мета азотування – одержання високої твердості і зносостійкості поверхні при збереженні в'язкості і міцності серцевини, підвищення межі витривалості і корозійної стійкості деталі [4]. Потрібна твердість поверхневого шару досягається за рахунок розчинення азоту у фериті і утворення дисперсних нітридів легуючих елементів сталі. На сьогодні відомі і застосовуються у промисловості два способи азотування: процес у середовищі аміаку, що розкладається при температурі 510 – 540 °С на водень і атомарний азот, та іонне азотування у тліючому розряді вольт-амперної характеристики при температурі 500 – 550 °С та тиску 130 – 1300 Па у спеціальній камері. Останній процес є більш вартісним, проте запобігає "водневій хворобі" деталі.

Важливим продуктом хімічної промисловості є сода і її похідні: кальцинована, каустична, кристалічна сода та гідрокарбонат натрію. Ці продукти застосовуються при виробництві скла, у чорній та кольоровій металургії, целюлозно-паперовій, текстильній, харчовій і нафтопереробній галузях, медицині тощо. У технології інженерії поверхні похідні соди застосовуються при підготовці деталей для нанесення покриття чи модифікування поверхневого шару.

Склад та термообробка швидкорізальних сталей були запропоновані американським інженером та винахідником Ф. Тейлором у 1898 р. [5]. Висока теплостійкість цих сталей визначається введенням до їх складу вольфраму, молібдену і хрому, що утворюють складні карбіди. Останні зв'язують майже весь вуглець, якого у швидкорізальних сталях міститься біля 1%. Тому коагуляція карбідів розпочинається при значно вищих температурах і теплостійкість сталі зростає до 550 – 600 °С. Висока твердість (HRC 63 – 65) і міцність ($\sigma_b = 2,5$ ГПа; $\sigma_{zg} = 2,1 - 2,4$ ГПа; $\sigma_{ct} = 4$ ГПа) швидкорізальних сталей пояснюється перетворенням залишкового аустеніту у мартенсит ($\gamma \rightarrow \alpha$ перетворення) у процесах гартування і багаторазового відпускання. Цьому сприяє також і дисперсійне зміцнення у результаті виділення карбідів, що виконують роль фази-зміцнювача. Структура повністю термообробленої швидкорізальної сталі складається з мартенситу, легованого переважно вольфрамом та молібденом і, менше – ванадієм та хромом, а також дисперсійних і надлишкових карбідів, що не розчинилися при гартуванні.

Швидкорізальні сталі, яких на сьогодні налічується понад 20 марок, застосовуються або розглядаються як перспективні для різних способів інженерії поверхні деталей машин, у тому числі і CVD-технології.

Наприкінці 20-х років XX ст. у Німеччині (1927 р.) і СРСР (1929 р.) було створено принципово новий конструкційний матеріал – металокерамічний твердий сплав на основі карбіду вольфраму як

скелету та наповнювача і кобальту як зв'язуючої речовини [2]. Твердий сплав можна отримати лише методами порошкової металургії. Сплави групи ВК (WC-Co) мають твердість HRA 87 – 91 і межу міцності на згин $\sigma_{зг} = 1,2 - 1,7$ ГПа, що нижче, ніж у швидкорізальних сталей, проте вищу теплостійкість, яка може сягати 900 °С. Такі фізико-механічні властивості дозволяють застосовувати тверді сплави у способах інженерії поверхні деталей машин.

Для цієї мети придатні і синтетичні алмази різної зернистості та міцності, а також їх комбінації з твердими сплавами (композиційний матеріал "славутич"). Перші синтетичні алмази були отримані у Швеції у 1953 р. (фірма ASEA), а широке промислове застосування розпочалося в Україні (Інститут надтвердих матеріалів, 1961 р.). Полікристали синтетичних алмазів мають надзвичайно високу твердість (50 – 100 ГПа по Кнупу), досить низьку міцність на стиснення ($\sigma_{в} = 0,3 - 0,8$ ГПа) та згинання ($\sigma_{зг} = 0,5 - 1,0$ ГПа). Отже, цей надтвердий матеріал досить добре працює у зносостійких композиціях, якими можуть бути споряджені поверхні деталей машин. Ще один надтвердий матеріал на основі кубічного нітриду бору (дві його щільні модифікації – сфалерит і вюрцит) також використовуються у способах інженерії поверхні, оскільки відзначаються високою твердістю (за Кнупом – 25 – 38 ГПа) і теплостійкістю, що перевищує цей показник синтетичних алмазів на 100 – 200 °С (відповідно 950 – 1000 °С і 800 °С). Міцність кубоніту на згинання знаходиться у межах $\sigma_{зг} = 0,55 - 0,98$ ГПа. У процесах інженерії поверхні нині застосовуються також різні види твердої та теплостійкої кераміки.

На сьогодні відомі і використовуються у промисловості наступні процеси CVD: хіміко-термічна обробка, гальванічні процеси, хімічне осадження.

В основу першого з них покладено дифузію. Дифузійне насичення поверхні сталей виробів вуглецем, азотом, бором, іншими елементами у поєднанні з наступною термічною обробкою (або без неї) призводить до зміни хімічного складу поверхневого шару, мікроструктури та інших властивостей. При цьому забезпечується значна відмінність останніх у поверхневому шарі та основі деталі.

Основні етапи хіміко-термічної обробки включають: дисоціацію, тобто розкладення початкових речовин з виділенням насичуючого елемента в активному атомарному стані; абсорбцію, тобто захоплення поверхнею деталі активних атомів насичуючого елемента; дифузію, тобто проникнення насичуючого елемента в основу. Дифузія активізується з підвищенням температури і протікає більш інтенсивно при утворенні твердих розчинів укорінення, ніж розчинів заміщення. Так, при боруванні, оскільки атомний радіус бору невеликий (0,091 нм) порівняно з атомним радіусом α -заліза (0,24 нм), перший створює твердий розчин вкорінення з другим, тому що вільно дифундує у залізо.

Хіміко-термічна обробка включає такі процеси інженерії поверхні: цементацію, азотування, нітроцементацію (ціанування), алітування, цинкування, хромування, силіціювання, борування.

Гальванічні процеси полягають у отриманні покриттів на поверхні провідника-основи (катод) з електропровідного розчину, що містить солі металу, який наноситься на деталь. Матеріал аноду при цьому переходить у розчин, а на катоді (деталі) відбувається його осадження. Таким чином підтримується концентрація металу у розчині. Електроосадження є процесом електрохімічної реакції, що викликає корозію на аноді. Процес відбувається за законом Фарадея, тобто маса металу, що утворюється при електролізі, прямопропорційна кількості електрики, що пропускається крізь розчин, і хімічному еквіваленту металу.

Гальванічні покриття можуть бути з металів, їх сполук, сплавів, сумішей металів з неметалевими дисперсними речовинами, наприклад, з алмазного порошку або порошку нітриду бору. В останньому випадку вони називаються композиційними електрохімічними покриттями. Такі покриття, у залежності від кількості та дисперсності неметалевої фази можуть мати високу твердість та зносостійкість, жароміцність, жаро- і корозійну стійкість, анти- і фрикційні властивості, інші необхідні характеристики.

При хімічному газофазному осадженні внаслідок перебігу хімічних реакцій біля деталі на її поверхні та у поверхневому шарі утворюються покриття. Вихідними продуктами є галогеніди, карбоніли або металоорганічні сполуки. При їх взаємодії з іншими газоподібними складовими сумішей (воднем, аміаком, вуглеводнями, оксидом вуглецю тощо) утворюються і осаджуються на поверхні деталі потрібні матеріали, тобто виникає покриття.

Газофазне нанесення покриття відбувається за схемою: хімічне випаровування; перенесення газоподібної металовмісної речовини; взаємодія цієї речовини з поверхнею деталі; утворення покриття.

При збагаченні низьковуглецевої сталі хромом досягається корозіє- та окалиностійкість. Газове азотування і цементация дозволяють отримати зносостійкі поверхневі шари з високим опором втомі. На деталях з середнім та високим вмістом вуглецю можна отримати зносостійкий шар карбідів хрому.

Прикладом хімічного газофазового осадження може також служити епітаксціальний синтез – осадження на підложку атомарно-активних елементів, наприклад, вуглецю, бору, азоту, які отримують при розкладенні речовин, що вміщують вуглець, бор, азот. Так, синтетичні алмази отримують гідролізом розчинів гідровуглецевих галогенідів і лужних металів при атмосферному тиску і кімнатній температурі або епітаксціальним осадженням на поверхні при термічній дисоціації вуглецьвміщуючих речовин.

Слід відзначити, що усі покриття і модифіковані шари, які отримано методами інженерії поверхні, у тому числі і CVD-методами, потребують фінішної механічної обробки, яка має свою специфіку. Цій проблемі присвячено ряд публікацій останнього часу, наприклад [6–8].

Висновок

CVD (Chemical Vapour Deposition) є важливим методом інженерії поверхні деталей машин, що включає підготовку цієї поверхні, власне процес нанесення покриття чи модифікування, а також обов'язкові заключні операції механічної обробки лезовим чи абразивним інструментом. Матеріалами для реалізації методу слугують: метали, неметали, гази і мінерали; їх сплави, хімічні сполуки, тверді розчини та суміші; кислоти, луги, похідні соди та солі; скло, кераміка, мінеральні фарби та пігменти; синтетичні та природні надтверді матеріали (алмаз і боразон). Між електричним та хімічними технологіями існує тісний взаємозв'язок, особливо після відкриття у 1833 – 1834 рр. законів Фарадея. На сьогодні основними CVD-технологіями інженерії поверхні є: хіміко-термічна обробка; гальванічні процеси, хімічне газофазне осадження. Напрямок CVD слід розглядати як взаємозв'язаний ланцюжок операцій: підготовка поверхні деталі; нанесення покриття чи модифікування; заключна механічна обробка.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Інженерія поверхні: Підручник / К.А. Ющенко, Ю.О. Борисов, В.Д. Кузнецов, В.М. Корж. – К.: Наук. думка, 2007. – 559 с.
2. Нариси історії розвитку прикладних технічних наук в Україні. З досвіду Харківського політехнічного інституту: Монографія / О.Є. Тверитникова, Н.І. Посвятенко, Т.В. Мельник. За заг. ред. д-ра техн. наук, проф. Е.К. Посвятенка. – Х.: НТУ "ХПІ", 2015. – 272 с. .
3. Історична спорідненість розвитку прикладних технічних наук: Монографія / Е.К. Посвятенко, О.Є. Тверитникова, Н.І. Посвятенко, Т.В. Мельник. – Х.: НТУ"ХПІ", – Х.: ФОП Панов А.М., 2017. – 224 с.
4. Матеріалознавство: Підручник / С.С. Дяченко, І.В. Дощечкіна, А.О. Мовлян, Е.І. Плешаков. За ред. проф. С.С. Дяченко. – Х.: ХНАДУ, 2007. – 440 с.
5. Посвятенко Е.К. Фредерік Тейлор – інженер та теоретик автомобільного конвейєра / Е.К. Посвятенко, Н.І. Посвятенко // Вісник Національного транспортного університету. Серія "Технічні науки. Наук.-техн. зб. – К.: НТУ. – 2017. – Вип. 1 (37). – С. 339 – 345.
6. Обробка деталей при відновленні і зміцненні: Посібник / Ю.О. Харламов, С.А. Клименко, М.А. Будаг'янц, Л.Г. Полонський. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.І. Даля, 2007. – 500 с.
7. Обработка резанием деталей с покрытиями / С.А. Клименко, В.В. Коломиец, М.П. Хейфец, А.М. Пилипенко, Ю.А. Мельничук, В.В. Бурыкин. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – 353 с.
8. Инструменты из сверхтвердых материалов / под ред. Н.В. Новикова и С.А. Клименко. – М.: Машиностроение, 2014. – 608 с.

REFERENCES

1. Yushchenko K.A., Boridov Yu.O., Kuznetsov V.D., & Korzh V.M. (2007) *Inzheneria poverkhni* [Engineering surface]. Kyiv: Naukova dumka. [in Ukrainian].
2. Tveritnikova O.Ye, Posviatenko N.I., & Melnik T.V.(2015) *Narysy istorii rozvytku prykladnykh tekhnichnykh nauk v Ukraine. Z dosvidu Kharkivskoho politekhnichnoho instytutu. Monografiia* [Essays on the history of the development of applied technical sciences in Ukraine. From the experience of Kharkiv Polytechnic Institute]. Kharkiv: NTU "KhPI". [in Ukrainian].

3. Posviatenko E.K., Tveritnikova O.Ye, Posviatenko N.I., & Melnik T.V. (2017) *Istorychna sporidnenist rozvytku prykladnykh tekhnichnykh nauk. Monografiia* [Historical affinity of development of applied technical sciences]. Kharkiv: NTU "KhPI", FOP Panov A.M. [in Ukrainian].
4. Diachenko S.S., Doshchechkina I.V., Movlian A.O., Pleshakov Ye.I. (2007) *Materialoznavstvo* [material science: textbook]. Kharkiv: KhNADU. [in Ukrainian].
5. Posviatenko E.K., & Posviatenko N.I. (2017) Frederik Teylor – inzhener ta teoretyk avtomobilnoho konveiera. [Frederick Taylor – engineering and theorist automobile transporter]. *Visnyk Natdionalnoho transportnoho universitetu. Visnyk National Transport University*, 1 (37), 339–345 [in Ukrainian].
6. Kharlamov Yu.O., Klimenko S.A., Budagyants M.A., & Polonski L.H. (2007) *Obrobka detalei pry vidnovlinni I zmitsnenni* [Treatment of parts when restoring and strengthening: Textbook]. Luhansk : vyd-vo SNU im. V.I. Dalia. [in Ukrainian].
7. Klimenko S.A., Kolomiets V.V., Kheifets M.P., Pilipenko A.M., Melniichuk Yu.A., & Burykin V.V. (2011). *Obrabotka rezaniem detalei s pokrytiami* [Machining of parts with coatings]. Kyiv: ISM im V.N. Bakulia NAN Ukrainy. [in Ukrainian].
8. Novikov N.V., & Klimenko S.A. (Ed). (2014). *Instrumenty iz sverkhtverdykh materialov* [Tools of superhard materials]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].

РЕФЕРАТ

Посвятенко Е.К. Матеріали у CVD-технологіях інженерії поверхні деталей засобів транспорту / Е.К. Посвятенко, Н.І. Посвятенко, Т.В. Мельник // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2018. – Вип. 3 (42).

В статті розглядається відкриття та сучасний стан матеріалів у CVD-технологіях інженерії поверхні деталей машин. Розкривається сутність цих технологій і їх взаємозв'язок з іншими технологіями створення поверхневих шарів з особливими експлуатаційними властивостями.

Мета роботи – дослідження відкриття, розвитку та використання матеріалів у CVD-технологіях інженерії поверхні.

Об'єкт дослідження – матеріали для CVD-технологій інженерії поверхні деталей машин.

Матеріалами для реалізації технологій слугують: метали, неметали, гази і мінерали; їх сплави, хімічні сполуки, тверді розчини та суміші; кислоти, луги, похідні соди та солі; скло, кераміка, мінеральні фарби та пігменти; синтетичні та природні надтверді матеріали (алмаз і боразон).

Показано, що між різними відомими та хімічними технологіями існує тісний взаємозв'язок, особливо у зв'язку з відкриттям у 1833 – 1834 рр. законів Фарадея.

Основними CVD-технологіями є: хіміко-термічна обробка; гальванічні процеси, хімічне газофазне осадження. Хіміко-термічна обробка включає такі процеси інженерії поверхні: цементацію, азотування, нітроцементацію (ціанування), алітування, цинкування, хромування, силіціювання, борування. Гальванічні процеси полягають у отриманні покриттів на поверхні провідника-основи (катод) з електропровідного розчину, що містить солі металу, який наноситься на деталь. Електроосадження є процесом електрохімічної реакції, що викликає корозію на аноді. Газофазне нанесення покриття відбувається за схемою: хімічне випаровування; перенесення газоподібної металовмісної речовини; взаємодія цієї речовини з поверхнею деталі; утворення покриття.

Установлено, що напрямок CVD слід розглядати як взаємозв'язаний ланцюжок операцій: підготовка поверхні деталі; нанесення покриття чи модифікування; заключна механічна обробка.

Прогнозні припущення щодо об'єкта дослідження – поліпшення службових властивостей поверхонь деталей машин використанням матеріалів для CVD-технологій та їх комбінацій.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МАТЕРІАЛИ, CVD-ТЕХНОЛОГІЇ, ПОВЕРХНЕВИЙ ШАР, МОДИФІКУВАННЯ, ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ.

ABSTRACT

Posviatenko E.K., Posviatenko N.I., Melnik T.V. Materials in CVD-technologies engineering surface parts of means of transport. *Visnyk of National Transport University. Series "Technical sciences". Scientific and Technical Collection*. Kyiv. National Transport University. 2018. Vol. 3(42).

This paper describes the discoveries and current state of materials in CVD-technologies of surface engineering of machine parts. The essence of these technologies and their interrelation with other technologies of creation of superficial layers with special operational properties are revealed.

Purpose – research of discovery, development and use of materials in CVD-technology of surface engineering.

The object of research – materials for CVD-technology of surface engineering of machine parts.

Materials for the implementation of technologies are: metals, non-metals, gases and minerals; their alloys, chemical compounds, solid solutions and mixtures; acids, alkalis, soda derivatives and salts; glass, ceramics, mineral paints and pigments; synthetic and natural superhard materials (diamond and borazon). Galvanic processes consist in obtaining coatings on the surface of the conductor-base (cathode) from an electroconductive solution containing metal salts, which is applied to the component. Electrodeposition is the process of electrochemical reaction, which causes corrosion on the anode. Gas-phase coating is carried out according to the scheme: chemical evaporation; transfer of gaseous metal-containing substance; the interaction of this substance with the surface of the part; formation of coverage.

It is shown that between the various known and chemical technologies there is a close relationship especially in connection with the discovery in 1833 – 1834. Faraday's laws.

The main CVD-technologies are: chemical-thermal treatment; galvanic processes, chemical gas-phase deposition. Chemical and thermal treatment includes such processes of surface engineering: cementation, nitriding, nitrocementation (cyanidation), aliation, zinc plating, chromium plating, silting, boring.

It is proved that the direction of CVD should be considered as an interconnected chain of operations: preparation of the surface of the part; coating or modification; final machining.

Forecasting assumptions about the object of research are improvement of service properties of surfaces of machine parts using materials for CVD-technologies and their combinations.

KEYWORDS: MATERIALS, CVD-TECHNOLOGIES, SURFACE LAYER, MODIFICATION, SURFACE ENGINEERING.

РЕФЕРАТ

Посвятенко Э.К. Материалы в CVD-технологиях инженерии поверхности деталей транспортных средств / Э.К. Посвятенко, Н.И. Посвятенко, Т.В. Мельник // Вестник Национального транспортного университета. Серия "Технические науки". Научно-технический сборник. – К. : НТУ – 2018. – Вып. 3(42).

В статье рассматриваются открытия и современное состояние материалов в CVD-технологиях инженерии поверхности деталей машин. Раскрывается сущность этих технологий и их взаимосвязь с другими технологиями создания поверхностных слоев с особыми эксплуатационными свойствами.

Цель работы – исследования открытия, развития и использования материалов в CVD-технологиях инженерии поверхности.

Объект исследования – материалы для CVD-технологий инженерии поверхности деталей машин.

Материалы для реализации технологий следующие: металлы, неметаллы, газы и минералы; их сплавы, химические соединения, твердые растворы и смеси; кислоты, щелочи, производные соды и соли; стекло, керамика, минеральные краски и пигменты; синтетические и природные сверхтвердые материалы (алмаз и боразон).

Показано, что между различными известными и химическими технологиями существует тесная взаимосвязь, особенно в связи с открытием в 1833 – 1834 гг. законов Фарадея.

Основными CVD-технологиями являются: химико-термическая обработка; гальванические процессы, химическое газофазное осаждение. Химико-термическая обработка включает такие процессы инженерии поверхности, как цементацию, азотирование, нитроцементацию (цианирование), алитирование, цинкование, хромирование, силицирование, борование. Суть гальванических процессов заключается в получении покрытий на поверхности проводника-основы (катада) из электропроводного раствора, который содержит соли металла, наносимого на деталь. Электроосаждение является процессом электрохимической реакции, которая вызывает коррозию на аноде. Газофазовое нанесение покрытия происходит по схеме: химическое испарение; перенесение газообразной металлсодержащего вещества; взаимодействие этого вещества с поверхностью детали; образование покрытия.

Доказано, что направление CVD следует рассматривать как взаимосвязанную цепочку операций: подготовка поверхности детали; нанесение покрытия или модифицирование; заключительная механическая обработка.

Прогнозные предположения об объекте исследования – улучшение служебных свойств поверхностей деталей машин использованием материалов для CVD-технологий и их комбинаций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МАТЕРИАЛЫ, CVD-ТЕХНОЛОГИИ, ПОВЕРХНОСТНЫЙ СЛОЙ, МОДИФИЦИРОВАНИЕ, ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ.

АВТОРИ:

Посвятенко Едуард Карпович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, e-mail: natali1963@ukr.net, тел. +380442808203, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 101а, orcid.org/0000-0001-6606-1365

Посвятенко Наталія Іванівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожніх машин, e-mail: natali1963@ukr.net, тел. 044-280-97-73, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226, orcid.org/0000-0002-2217-4170

Мельник Тамара Василівна, кандидат історичних наук, доцент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", e-mail: melnicktamara@yandex.ua, тел.+380955966210, Україна, 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 21, кафедра технології неорганічних речовин, orcid.org/0000-0002-0150-6535

AUTHOR:

Posviatenko Eduard K., Doctor of Technical Science, professor, National Transport University, professor, department of production, repair and materials science, e-mail: natali1963@ukr.net, +380442808203, Ukraine, Kyiv, st. Omelianovicha-Pavlenko, 1, r. 101a, orcid.org/0000-0001-6606-1365

Posviatenko Natalia.I., Ph.D., associate professor, National Transport University, associate professor department road vehicles, e-mail: natali1963@ukr.net, tel. 044-280-97-73, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovicha-Pavlenko str. 1, of.226, orcid.org/0000-0002-2217-4170

Melnik T.V., Ph.D., associate professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", associate professor department technology of inorganic substances, e-mail: melnicktamara@yandex.ua, tel.+380955966210, Ukraine, 61002, Kharkiv, Kirpichova str, 21, department technology of inorganic substances, orcid.org/0000-0002-0150-6535

АВТОРЫ:

Посвятенко Эдуард Карпович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры производства, ремонта и материаловедения, e-mail: natali1963@ukr.net, тел. +380442808203, Украина, 01010, м. Киев, ул. Омеляновича-Павленко, 1, к. 101а, orcid.org/0000-0001-6606-1365

Посвятенко Наталия Ивановна, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры дорожных машин, e-mail: natali1963@ukr.net, тел. 044-280-97-73, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляновича-Павленко, 1, к. 226, orcid.org/0000-0002-2217-4170

Мельник Тамара Васильевна, кандидат исторических наук, доцент, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", e-mail: melnicktamara@yandex.ua, тел.+380955966210, Украина, 61002, г. Харьков, ул. Кирпичова, 21, кафедра технологии неорганических веществ, orcid.org/0000-0002-0150-6535

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Клименко С.А. доктор технічних наук, професор, заступник директора з наукової роботи Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України НАН України, Київ, Україна.

Матейчик В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Київ, Україна.

REVIEWER:

Klimenko S.A., Doctor of Technical Sciences, professor, Deputy Director for Scientific Work of Institute Superhard Materials named V.N. Bakul NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

Mateichyk V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, professor of the ecology and life safety department, Kyiv, Ukraine.